

Jaroslav Džmura<sup>1</sup>, Jaroslav Petráš<sup>1</sup>, Jaroslav Briančin<sup>2</sup><sup>1</sup> Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach  
<sup>2</sup> Ústav geotechniky SAV, Košice

## Chemická analýza pevných exhalátov z ovzdušia

**Abstrakt.** Tento príspevok je venovaný analýze pevných exhalátov z ovzdušia, ktoré nám ovplyvňujú návrh vonkajšej izolácie. Príspevok popisuje metodiku zberu exhalátov, meranie ich zloženia a chemický rozbor. V závere sú uvedené návrhy na ďalší postup analýzy tuhých exhalátov.

**Kľúčové slová:** tuhé exhaláty; metodika zberu tuhých exhalátov; analýza chemického zloženia.

**Abstract.** This paper is a contribution to solid air exhale analysis, regarding to outer insulation design. It describes the method of exhale collection, their composition measurement and their chemical analysis. Further proposals are made in conclusion for solid exhale analysis. **(Chemical Analysis of Solid Air Exhale)**

**Keywords:** solid exhale; solid exhale collection method; chemical analysis.

### Úvod

Vonkajší izolačný systém sa má navrhovať tak, aby neboli potrebné ďalšie prevádzkovo technické opatrenia a aby nebolo potrebné vypínať elektrické zariadenia častejšie, ako si vyžaduje bežná údržba [1, 2]. Pre závesné izolátory vonkajších vedení sa nepredpokladá čistenie počas celej doby riešenia. Pre prístrojové izolácie sa predpokladá čistenie 1-krát ročne, 1-krát za 5 rokov alebo vôbec. Pri vonkajších vedeniach sa používa ako trvalé opatrenie pred elektrickým prierazom preizolovanie, to znamená, že izolačný systém je navrhnutý na vyššie napätia, ako v skutočnosti budú použité [3].

Izolačné systémy vonkajších elektrických zariadení sa môžu nachádzať v oblastiach s rôznym stupňom znečistenia. Existujú dva základné typy znečistenia povrchu izolátorov:

- Typ A – na povrchu izolátora sa usadzuje pevné znečistenie, ktoré obsahuje rozpustnú a nerozpustnú zložku.
- Typ B – na povrchu izolátora sa usadzuje tekutý elektrolyt s veľmi malým množstvom nerozpustných zložiek.

Pri návrhu vonkajších izolačných systémov je potrebné vedieť v akej oblasti znečistenia bude izolačný systém umiestnený a je vhodné vedieť aj o aké znečistenie sa jedná [4]. To znamená je vhodné vedieť chemické a elektrické vlastnosti znečisťujúcich látok.

V ďalších častiach príspevku sa budeme venovať zberu a analýze znečisťujúcich látok z ovzdušia.

### Metodiky zberu pevných exhalátov z ovzdušia

Zber pevných exhalátov v ovzduší sa realizuje na základe normy PNE 33 0405-1 [5].

### Metodika vyhodnotenia spádu

Princíp tejto metódy je nasledovný. Prašný spád sa zachytáva do nádob z polyetylénu s objemom cca 1 liter. Horný vnútorný priemer nádob je 100 mm. Sedimentačné nádoby sa umiestňujú v staniách alebo v niektorých dôležitých bodoch vedenia. Každé meracie miesto je osadené 2 až 3 sedimentačnými nádobami, ktoré sa umiestňujú vo výške 2 m nad zemou do držiakov a nechajú sa vo vyšetrovanom prostredí po dobu minimálne 4 týždne.

Pri ich umiestnení je potrebné brať do úvahy to, aby sa do nádob nedostalo znečistenie spláchnuté dažďom z konštrukcií, v blízkosti ktorých sú nádoby umiestnené.

Obsah všetkých sedimentačných nádob z meraného miesta sa kvantitatívne prevedie do jednej alebo viacej

predom odvážených odparovacích sklenených misiek a suší sa v sušičke pri teplote 40°C do úplného vysušenia. Po vychladnutí sa misky so spádom zväžia a po odčítaní hmotnosti prázdnych misiek sa získa celkové množstvo spádu  $S_c$  (mg/cm<sup>2</sup>deň).

Filtráciou sa oddelia nerozpustné látky od rozpustných. Na filtráciu sa používa papierový filter, ktorý sa predom namočí v destilovanej vode, vysuší sa pri teplote 40°C, nechá sa v sušičke schlaadiť na konštantnú hmotnosť a zväžia sa. Po filtrácii zostanú na filtri nerozpustné látky. Filter s nerozpustnými látkami sa suší pri teplote 40°C, nechá sa schlaadiť na konštantnú hmotnosť a zväžia sa. Odčítaním hmotnosti filtra pred filtráciou dostaneme celkové množstvo nerozpustných látok v sedimente. Hmotnosť rozpustných látok  $S_r$  (mg/cm<sup>2</sup>deň) sa stanoví odčítaním hmotnosti nerozpustných látok od celkového množstva spádu.

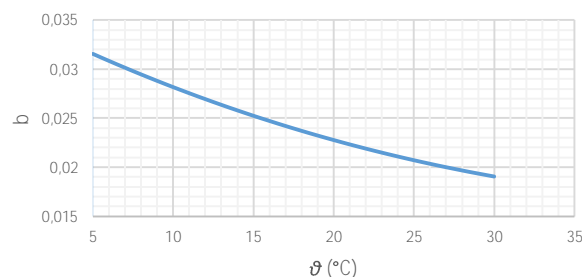
Získaný filtrát rozpustných látok sa nechá vysušiť pri teplote 40°C a zo sušiny sa pripraví 0,2% roztok v destilovanej vode a zmeria sa jeho merná elektrická vodivosť a teplota.

Získaná hodnota vodivosti sa prepočíta na mernú elektrickú vodivosť pri teplote 20°C podľa vzťahu

$$(1) \quad (\dots)$$

kde:  $\mu S \cdot cm^{-1}$  – merná elektrická vodivosť 0,2% roztoku rozpustných látok pri teplote °C ( $\mu S \cdot cm^{-1}$ ),  $\mu S \cdot cm^{-1}$  – merná elektrická vodivosť 0,2% roztoku rozpustných látok pri teplote 20°C ( $\mu S \cdot cm^{-1}$ ),  $t$  – teplota roztoku v °C,  $k$  – činiteľ, ktorý závisí od teploty, a získa sa zo vzťahu (2), prípadne z grafu na obrázku 1.

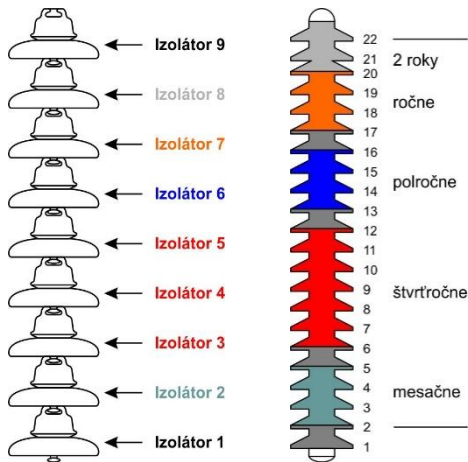
$$(2)$$



Obr.1. Korekcia rozpustnosti vzhľadom na teplotu

**Metodika podľa IEC 60815-1**

Stupeň znečistenia je možné určiť na základe merania ESDD (ekvivalentná hustota nánosov soli) a NSDD (hustota nánosov nerozpustných látok), ktorá sa vykoná na referenčnom izolátore pochádzajúcom z prevádzky alebo zo skúšobného stanovišťa.



Obr.2. Rozdelenie povrchu izolátorov na meranie znečistenia

Naviac správna voľba izolátora, na ktorom sa vykonáva meranie ESDD a NSDD umožňuje získať informácie pre priame stanovenie požiadaviek na povrchovú dráhu izolátora. Niekedy je užitočné urobiť chemický rozbor nečistôt.

Na určenie stupňa znečistenia daného stanovišťa sa zvyčajne používa reťazec 7 referenčných izolátorov (palička-panvička) alebo na potlačenie okrajových efektov 9 referenčných izolátorov, prípadne tyčový izolátor s minimálne 14 strieškami. Izolátor, ktorý nie je pod napätím, je vhodné umiestniť čo najbližšie k pozíciám izolátorov pod napätím, ktoré sú na vedení alebo v elektrickej stanici.

Každý izolátorový disk (sklenený) alebo strieška (porcelánový) by mali byť monitorované v pravidelných intervaloch. Ako príklad je na obrázku 2 uvedený postup monitorovania závesu s tanierovými izolátormi a tyčový izolátor s 22 strieškami.

**Zber pevných exhalátov z ovzdušia**

Pri prvých meraniach boli použité vzorky spádu zozbierané pracovníkmi VSD v roku 2015 na účely vytvorenia mapy znečistenia. Prašný spád bol zachytený do

nádobiak z polyetylénu s objemom 0,7 l. Horný vnútorný priemer nádoby je 94 mm. Sedimentačné nádoby sa umiestnili na elektrických staniách a v teréne v lokalitách, ktoré boli určené na základe umiestnenia znečisťovateľov ovzdušia a predpokladanej zmeny stupňa znečistenia v danej lokalite. V každej lokalite bola umiestnená jedna nádoba, na elektrických staniách (ES) boli umiestnené 2 nádoby. Jedna nádoba bola umiestnená na plote vonkajšej rozvodne VVN, druhá na stožiaroch rozvodne vo výške 2 m nad zemou. V teréne sa nádoby umiestňovali na stožiaroch VN, VVN a ZVN vo výške 3 až 4 m nad zemou. Boli upevnené na konzole, ktorá sa pripevnila ku stožiaru. Konzola bola potrebná, aby sa do nádobiek nedostalo znečistenie spláchnuté dažďom z konštrukcií stožiarov, o ktoré boli uchytené. V danej lokalite boli ponechané 112 až 131 dní.

**Analýza zozbieraných vzoriek**

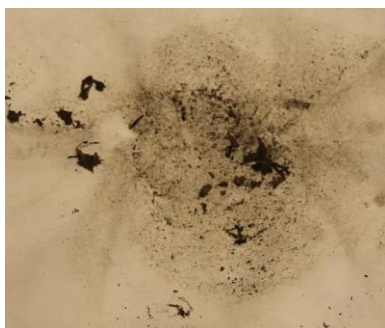
Obsah nádobiek sa sušil v priestoroch laboratória skúšobne v ES Lemešany. Sušenie sa uskutočnilo v sušiarňi pri teplote 40 °C až do úplného vysušenia za účelom získania celkového množstva zachyteného spádu  $S_c$  (mg). Po zvážení sa spád zalial destilovanou vodou a nechal sa vylúhovať. Pomocou papierového filtra sa odfiltrovali nerozpustné látky. Týmto bolo celkové množstvo nerozpustných látok  $S_r$  (mg) sa získala odčítaním hmotnosti nerozpustných látok od celkového množstva spádu. Filtrát sa vysušil pri teplote 40 °C, zo sušiny sa pripravil 0,2% roztok v destilovanej vode a zmerala sa merná elektrická vodivosť  $\sigma_{0,2\%}$  ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (prepočítaná na mernú elektrickú vodivosť pre teplotu 20 °C).

Filtračné papieriky s nerozpustnými látkami boli podrobené ďalšej analýze. Najprv boli všetky papieriky ešte raz zvážené a roztriedené do skupín podľa oblastí zberania. Každý filtračný papierik bol odfotografovaný. Príklady fotografií zozbieraných vzoriek sú na obrázku 3.

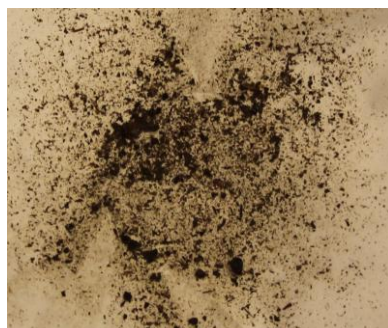
Všetky vzorky boli potom analyzované rastrovacím elektrónovým mikroskopom TESCAN MIRA 3 FE s EDX detektorom. Vzorky z obrázku 3 zobrazené elektrónovým mikroskopom sú na obrázku 4.

Zo záberov z mikroskopu vidieť, že nerozpustné exhaláty sú tvorené organickými aj anorganickými časťami. Nachádzajú sa tam rôzne časti rastlín, hmyzu ale aj nečistôt z priemyselných prevádzok.

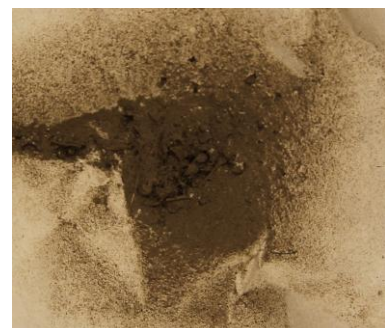
Všetky vzorky boli ďalej podrobené prvkovej analýze, ktorá zobrazí chemické zloženie jednotlivých vzoriek.



Moldava

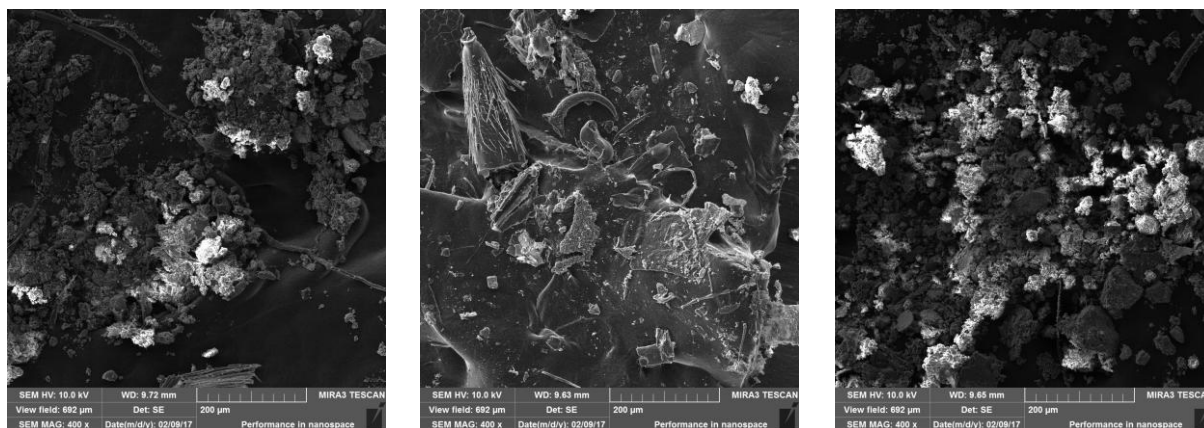


Košice-východ



Šaca

Obr.3. Fotografie zozbieraných vzoriek

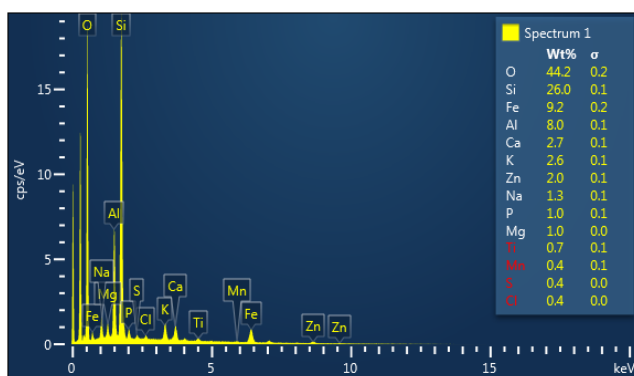


Moldava

Košice-východ

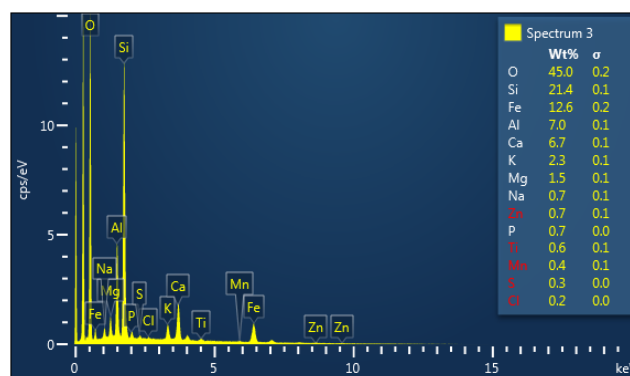
Šaca

Obr.4. Fotografie zozbieraných vzoriek



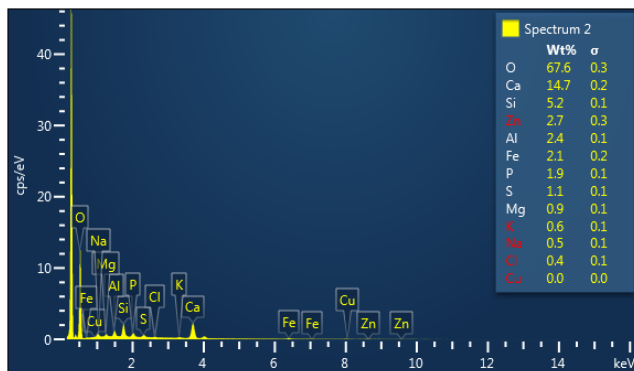
Obr.5. EDX spektrum vzorky z Moldavy

EDX spektrum vzorky z Moldavy (obrázok 5) zobrazuje prvkové zloženie prašného spádu. Dominantne sú zastúpené oxidy kremíka ( $\text{SiO}_2$ ), oxidy železa ( $\text{FeO}$ ) a oxidy hliníka ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).



Obr.7. EDX spektrum vzorky zo Šace

EDX spektrum vzorky zo Šace (obrázok 7) dokumentujúce prvkové zloženie zobrazuje, že vo vzorke sú dominantne zastúpené oxidy kremíka ( $\text{SiO}_2$ ), oxidy železa ( $\text{FeO}$ ), oxidy hliníka ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) a oxidy vápnika ( $\text{CaO}$ ).



Obr.6. EDX spektrum vzorky z oblasti Košice-východ

EDX spektrum vzorky oblasti Košice-východ (obrázok 6) ukazuje, že v nej sú dominantne zastúpené oxidy vápnika ( $\text{CaO}$ ) a oxidy kremíka ( $\text{SiO}_2$ ).

### Plánované experimenty

Nakoľko v zozbieraných vzorkách už boli oddelené rozpustné a nerozpustné zložky, chemickej analýze boli podrobené len nerozpustné zložky. Z dôvodu komplexnejšej analýzy prebieha zber ďalších vzoriek vo väčšom objeme. Na ďalší zber sa javí ako vhodná metóda vyhodnotenia spádu s menšími úpravami.

Na zber vzoriek sa zvolia vhodné oblasti, ktoré patria do skupiny silných a stredných oblastí znečistenia. Na zber sa používa viacero zberných nádob. Po zozbieraní sa vzorky vysušia a nebudú sa rozpúšťať v destilovanej vode. Týmto zostanú pohromade nerozpustné aj rozpustné zložky exhalátov. Vysušené vzorky sa odvážia a potom sa uskutoční prvková analýza, ktorá zistí chemické zloženie jednotlivých vzoriek. V prípade dostatočného množstva exhalátov vo vzorke, zrealizuje sa aj meranie elektrických vlastností týchto exhalátov.

### Záver

Na základe podrobného rozboru tuhých exhalátov z ovzdušia je možné predpokladať ako tieto môžu ovplyvniť povrch vonkajších izolačných systémov. V oblastiach s exhalátmi, ktoré majú pre izolačný systém nepriaznivejší vplyv, je možné pomocou vhodných preventívnych opatrení znížiť riziko vzniku poruchy na izolačnom systéme. Vhodné preventívne opatrenia sa dajú ekonomicky navrhnúť len vtedy, ak bude známe zloženie tuhých exhalátov z ovzdušia a ich chemické a elektrické vlastnosti.

**Literatúra**

- [1] Z. Martínek, T. Klor, J. Holý. Reliability of the electrical power system. In 15<sup>th</sup> International Scientific Conference EPE 2014, Electric Power Engineering 2014, May 12-14, 2014 Hotel SANTON, Brno, Czech Republic, ISBN978-1-4799-3807-0
- [2] B. Dolník. Contribution to Analysis of Daily Diagram of Supply Voltage in Low Voltage Network: working days versus non-working days. In Proceedings of the 2015 16<sup>th</sup> International Scientific Conference on Electric Power Engineering, 2015. Kouty nad Desnou, Czech Republic. May 20-22, 2015. p. 373-376. ISBN:978-1-4673-6788-2
- [3] R. Cimbala, J. Kurimský, I. Kolcunová. Determination of thermal ageing influence on rotating machine insulation system using dielectric spectroscopy. In: Przegląd Elektrotechniczny. Vol. 87, no. 8 (2011), p. 176-179. - ISSN 0033-2097
- [4] M. Kostelec, J. Kurimsky, M. Fořta, S. Bucko, and Z. Conka. Investigation of effects of non-ionizing electromagnetic fields interacting with biological systems. In Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering (ELEKTROENERGETIKA 2015), 2015. ISBN 978-80-553-2187-5
- [5] PNE 33 0405-1:2014 Navrhování venkovní izolace podle stupně znečištění – Část 1: Porcelánové a skleněné izolátory pro sítě se střídavým napětím

**Podakovanie**

*Táto práca vznikla na základe podpory agentúry v projekte VEGA č. 1/0311/15.*

*Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-15-0438.*

**Autori:** Jaroslav Džmura, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, e-mail: [jaroslav.dzmura@tuke.sk](mailto:jaroslav.dzmura@tuke.sk)  
Jaroslav Petráš, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, e-mail: [jaroslav.petras@tuke.sk](mailto:jaroslav.petras@tuke.sk)  
Jaroslav Briancin, Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 040 01 Košice, email: [briancin@saske.sk](mailto:briancin@saske.sk)